

# FEM을 이용한 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기의 자속 장벽 설계에 대한 연구

金男堯<sup>†</sup>, 南常鉉<sup>\*</sup>, 崔景好<sup>\*\*</sup>

## A Study on Flux Barrier of Permanent Magnet Assisted Reluctance Synchronous Motor Design using FEM

Nam-Hun Kim, Sang-Hyun Nam and Kyeong-Ho Choi

### 요 약

본 논문에서는 세탁기용으로 사용될 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기(permanent-magnet assisted reluctance synchronous motor : PMA-RSM)의 설계와 특성에 대해서 살펴본다. 제안된 PMA-RSM의 특성과 최대 토크 특성을 알아보기 위해서 유한 요소법(finite element method)을 이용 하였다. 저속 구간에서의 충분한 토크를 발생시키기 위해서 회전자 구조는 릴럭턴스 토크를 만들어내는 돌극 구조와 회전자 내부의 공극에 영구자석을 삽입하는 구조로 구성되어 있다. 전형적인 자속 장벽형(Flux barrier type) 릴럭턴스 동기전동기(RSM : Reluctance Synchronous Motor)와 자속 장벽(Flux barrier)에 자석을 삽입한 경우에 발생하는 현상들에 대해서 비교 분석하고, 또한 제안된 PMA-RSM의 릴럭턴스 토크(reluctance torque)와 자석에 의한 자석 토크(magnetic alignment torque)가 서로 최대가 되는 시점을 시뮬레이션을 통하여 구하며, 그 결과를 이용하여 전동기의 특성, 평균토크 그리고 토크 리플에 대해서 유한 요소법을 통하여 살펴보았다.

### ABSTRACT

This paper examines the design and the performance of a PMA-RSM(permanent-magnet assisted reluctance synchronous motor) for washing machine. A FEM(finite element method) is used to analyze performance and maximum torque characteristic of the proposed PMA-RSM. The designed motor is a combination of salient poles, which is making reluctance torque, and permanent magnet which are located on the air-gap of rotor to get a enough torque during low speed resign. Typical flux barrier type reluctance synchronous motor and the effects of adding magnet into the flux barrier of the rotor of a PMA-RSM are compared and examined. Also the maximum torque point of the reluctance torque by reluctance and reaction torque by magnetic alignment torque, which is in barrier, of the proposed PMS-RSM are derived through simulation. Using this results, the characteristics analysis of a performance, an average torque and a torque ripple of flux barrier RSM and the proposed PMA-RSM are performed through FEM under the saturation effect respectively.

**Key Words** : Flux barrier, Reluctance motor, PM assisted reluctance motor, Maximum torque, FEA.

### 1. 서 론

<sup>†</sup>교신저자 : 정회원, 청주대 전자정보공학부 전임강사

E-mail : nhkim@cju.ac.kr

<sup>\*</sup>정회원, 청주대 전자정보공학부 전임강사

<sup>\*\*</sup>정회원, 경북전문대학 전기과 조교수

접수일자 : 2007. 8. 16

1차 심사 : 2007. 8. 26

2차 심사 : 2007. 11. 2

3차 심사 : 2008. 6. 12

심사완료 : 2008. 6. 20

급속도로 발전되고 있는 산업분야에서 전동기는 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 고성능의 특성을 가지는 액츄에이터가 요구되는 산업분야에서는 영구자석형 동기전동기(Permanent magnet synchronous

motor : PMSM)와 유도전동기(Induction motor)가 많이 사용되고 있으며, 영구자석형 동기전동기는 유도전동기에 비해 높은 효율, 제어의 용이성, 소형화의 장점으로 인해 이상적인 교류전동기로 연구되고 있다. 한편으로 최근에는 유도전동기나 영구자석형 동기전동기와 같이 상호 토크(Reaction torque)와 자석 토크(Magnet alignment torque)가 아니라 릴럭턴스가 최소화 되도록 정렬하려는 릴럭턴스 토크(Reluctance torque)를 사용하는 릴럭턴스 전동기(Reluctance motor)에 대해서 많은 연구가 이루어지고 있다<sup>[1][2][6][7]</sup>.

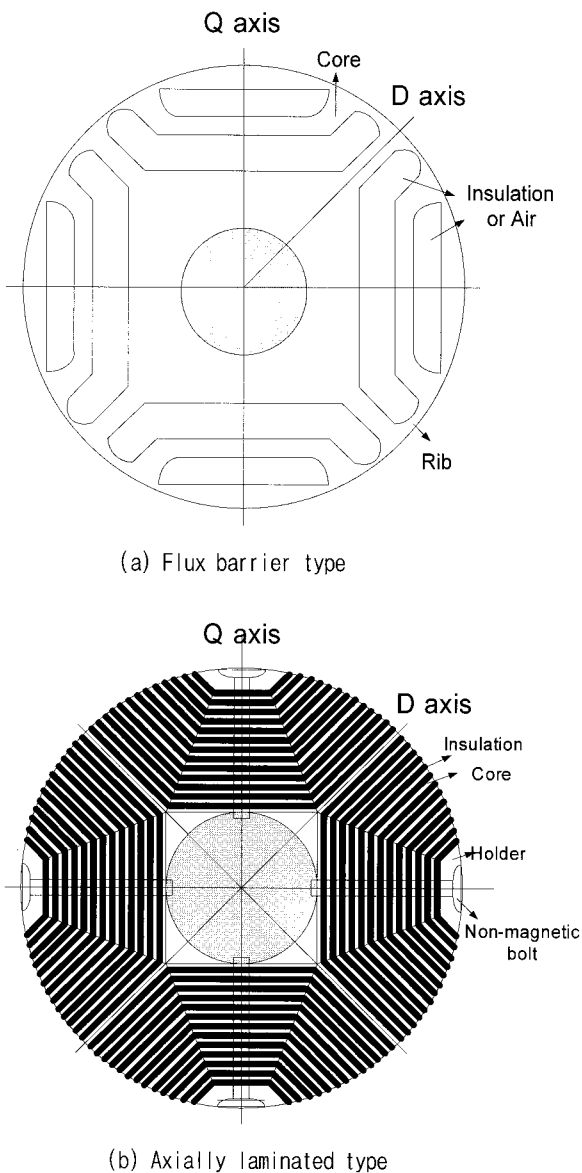


그림 1 릴럭턴스 동기전동기의 고정자  
Fig. 1 A rotor of reluctance synchronous motor

릴럭턴스 전동기는 크게 스위치드 릴럭턴스 전동기(Switched reluctance motor : SRM)와 릴럭턴스 동기전동기(Reluctance synchronous motor : RSM)로 나누어지고, 릴럭턴스 동기 전동기(Reluctance Synchronous Motor)의 토크 특성이나 역률은 인덕턴스의 차나 인덕턴스의 비율에 의해서 결정되어진다<sup>[2]</sup>. 릴럭턴스 동기 전동기의 구조적인 면에서 보았을 경우, 고정자의 경우는 일반적인 유도전동기나 영구자석형 동기전동기와 같으며, 회전자에는 크게 그림 1에서와 같이 자속 장벽형(Flux barrier type)과 축방향 성층형(Axially laminated type)으로 나누어진다. 그림 1(a)와 같은 자속 장벽형은 코어를 편칭하여 길이 방향으로 적층한 것으로 내부의 공간은 공기로 두며 기계적인 유지를 위하여 리브가 존재하는데 이로 인하여 q축의 자속 경로가 발생하여 인덕턴스 비율의 저하를 야기하지만 제작공정이 단순하고 제작단가가 싸다는 이점이 있다. 그림 1(b)는 축방향 성층형이고 각각의 철판을 절곡하여 그사이에 절연물을 삽입하여 축방향으로 절연한 것이며, 인덕턴스 비율이 높지만 제작공정이 복잡하고 제작 단가가 비싸다는 단점이 있다. 또한 릴럭턴스 동기전동기의 인덕턴스 비율을 높이기 위해서 회전자에 영구자석을 삽입함으로써 인덕턴스 비율을 높이는 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기(Permanent magnet assisted reluctance synchronous motor : PMA-RSM)에 관하여도 많은 연구가 이루어지고 있다. 그러나 PMA-RSM의 경우는 회전자 내부에 슬릿 효과(slit effect)로 인해서 자속의 분포가 고르지 못하고, 자석을 장벽(barrier) 내부에 삽입하고 자석의 배열과 양에 따라서 전동기의 특성이 달라지기 때문에 전동기 해석이 매우 난해하다는 단점이 있다<sup>[1][2]</sup>.

본 논문에서는 세탁기용으로 사용하기 위해서, 자속 장벽형 릴럭턴스 동기전동기에 영구자석을 삽입하고, 자석 토크와 릴럭턴스 토크를 동시에 사용함으로써 전동기의 특성을 최대화하고, 그리고 릴럭턴스 토크와 자석 토크의 합성토크가 최대가 되는 시점을 각각 살펴보고 제안된 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기의 실제 토크를 Ansoft의 Maxwell이라는 유한요소 프로그램을 통해서 확인한다<sup>[3][4][5]</sup>.

## 2. 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기

그림 2는 영구자석형 릴럭턴스 동기전동기의 회전자의 구조를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 전형적인 자속장벽형 릴럭턴스 동기전동기의 회전자에 자석을

넣음으로써, 릴럭턴스 토크와 자석에 의한 자석 토크를 동시에 사용하고, 일반적인 릴럭턴스 동기전동기에 비해서 좋은 토크 특성이나 동특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 영구자석형 전동기에 비해서는 가격 대비 성능 특성에서 좋은 특성을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 영구자석형 전동기에 비해서 자속성분의 전류를 여자함으로써 동손(copper loss)과 철손(iron loss)이 커진다는 단점이 있지만, 고속 영역에서의 약계자 제어에 용이하다는 장점을 가진다.

식(1)은 릴럭턴스 동기전동기의 토크 방정식을 보여 주고 있으며, 전동기 토크는 단지 회전자 인덕턴스 돌극 비(saliency)에 의한 릴럭턴스 토크만을 사용하고 있음을 알 수 있다.

$$T_e = \frac{P}{2} (L_d - L_q) I_d I_q \tag{1}$$

$$= \frac{P}{2} (\Phi_d I_q - \Phi_q I_d)$$

여기서, P 는 전동기 극 수(pole numbers)이고,  $L_d$  와  $L_q$ 는 d축 q축 인덕턴스,  $I_d$  와  $I_q$ 는 d축 q축 전류 성분, 그리고  $\Phi_d$ ,  $\Phi_q$ 는 d축 q축 쇄교 자속을 나타낸다.

PMA-RSM은 자석을 사용함으로써 아래와 같이 다시 토크 수식을 정리할 수 있다.

$$T_e = \frac{P}{2} [L_d I_d I_q + (\Phi_{pm} - L_q I_q) I_d] \tag{2}$$

$$= \frac{P}{2} [\Phi_d I_q + (\Phi_{pm} - \Phi_q) I_d]$$

여기서  $\Phi_{pm}$  은 영구자석에 의한 쇄교 자속을 나타낸다.

그림 3에서는 실제 영구자석 동기전동기의 최대 토크 시점과 릴럭턴스 동기 전동기의 최대 토크 시점에 대해서 나보여주고 있다. 그림에서와 같이 자석 토크의 경우는 고정자 자속과 회전자 자속이 90[deg]의 전기각을 이루었을 경우에 최대 토크가 발생되고, 릴럭턴스 동기전동기의 경우는 고정자 자속과 회전자 자속이 45[deg]의 전기각을 이루었을 경우 최대 토크가 발생하게 되는 것을 알 수 있다. 따라서 PMA-RSM의 경우는 고정자와 회전자사이의 자속을 90[deg]와 45[deg]사이의 시점에서 최대 토크를 얻는 다는 것을 알 수 있다. 그림 3에서 릴럭턴스 토크가 초기에 음의 값을 가지는 것은 릴럭턴스 동기전동기의 회전자 위치가 고정자 쇄교자속에 비해서 앞에 위치하고 있기 때문에 초기에는 음의 값을 가지다가 45[deg]이후에 양

의 값을 가지게 된다.

식(2)와 그림3에서부터 알 수 있듯이 자석토크와 릴럭턴스 토크를 최대한 활용하기 위해서는 자속 성분 전류와 토크 성분 전류의 각도를 인덕턴스의 값에 따라 45[deg]에서 90[deg]의 값으로 주어야 한다.

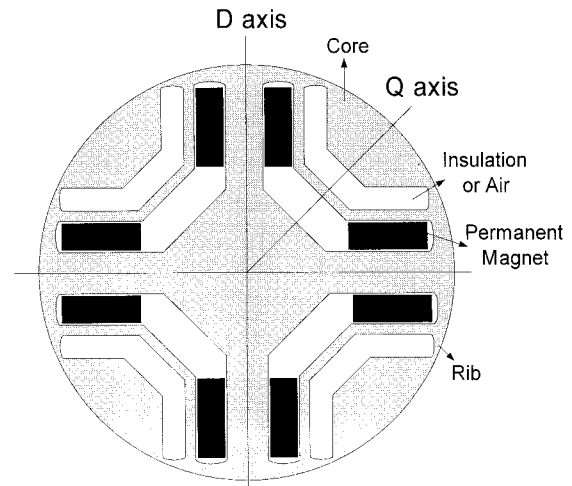


그림 2 PMA-RSM의 구조  
Fig. 2 Motor configuration of PMA-RSM

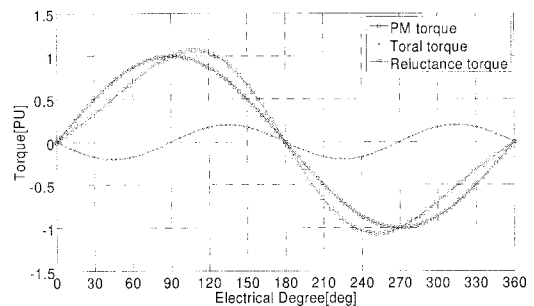
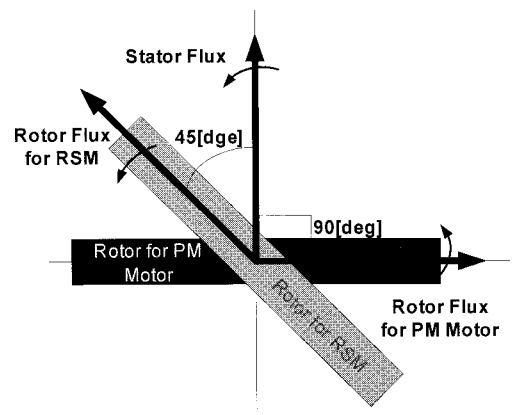


그림 3 자석토크와 릴럭턴스 토크와의 관계  
Fig. 3 Relationship between magnetic alignment torque and reluctance torque

### 3. 제안된 PMA-RSM

세탁기용 전동기를 위해서 PMA-RSM를 적용하였다. 아래의 표1은 기존의 세탁기용 전동기에 사용되고 있는 BLDC전동기의 사양을 나타내고 있으며, 본 논문에서 사용된 PMA-RSM도 외형적인 치수와 사양은 같은 값을 사용하였다. 제안된 PMA-RSM은 표 1.에서와 같이 고정자는 36 슬롯을 가지고 전철권(Full fitted stator winding)을 가지며 그리고 51[mm]의 내부 직경을 가진다.

전동기를 설계하기 위해서 2D-유한 요소법(two-dimensional finite element method)을 프로그램인 Ansoft사의 Maxwell을 이용해서 최적의 자속장벽의 치수를 구하였다[1]. 그리고 RSM의 회전자 구조는 정격전류를 인가하여 최대 토크를 가지도록 하였고, 전동기 상(phase)간의 상호 간섭을 고려하였으며 그리고 철손(iron loss)을 고려하지는 않았다. 킬리턴스 토크를 최대화하기 위해서 다음 장에서 장벽(barrier) 설계에 대해서 자세히 다루어진다.

표 1 사용된 PMA-RSM 사양  
Table 1 The specification of the used PMA-RSM

	PMA-RSM
Stator Outer Dia.	267[mm]
Stator Inner Dia.	51[mm]
Airgap Length	0.6[mm]
Stack Length	42[mm]
Magnet	Ferrite
Stator slot Number	36
Number of Pole	24

#### 3.1 Effect of Single Flux barrier Width

Single flux barrier의 변화에 따른 토크 특성을 살펴보기 위해서, 그림 4(a)와 같이 전동기의 모델을 구성하였다.

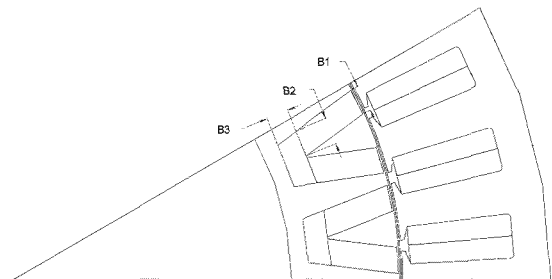
B1과 B2를 결정하기 위해서 B3 = 5[mm]로 고정하고, B1 = B2 = 1 ~ 7[mm] 변화를 주었다. 각각의 스텝에서 자속 장벽의 넓이를 1[mm]의 변화 시켰으며 고정자 권선에는 사인 형태의 전류를 인가하였다. 그림 4(b)에서는 그 결과를 보여주고 있고, 자속 장벽의 넓이 B<sub>1</sub>을 1 ~ 6[mm] 증가하였을 경우는 토크가 증가하는 형태를 보이다가, 7[mm]에서 토크가 감소하

는 형태를 나타내고 있으며, 결국 B<sub>1</sub>이 6[mm]에서 최대 토크값을 가지는 것을 알 수 있다.

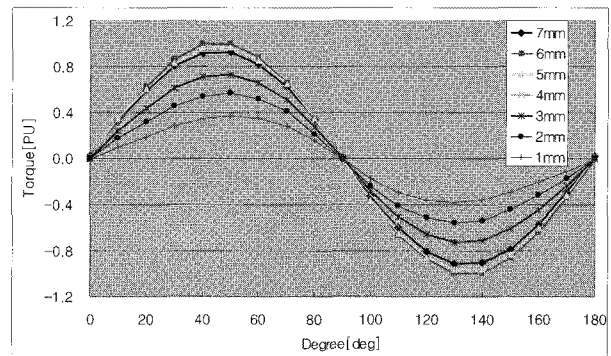
B3를 결정하기 위해서 B1 = B2 = 6[mm]로 고정하고 B3 = 1 ~ 8[mm]로 1[mm]의 스텝으로 변화를 주었다. 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 6[mm]까지는 토크가 증가하는 경향을 보이다가 7[mm]에서부터 토크가 감소하는 것을 알 수 있었으며, 6[mm]에서 토크가 최대값을 가지는 것을 알 수 있었다.

B1와 B2의 비율을 결정하기 위해서 B2 = B3 = 6[mm]로 고정하고, B1을 1 ~ 6[mm]로 1[mm]의 스텝으로 변화를 주었으며, 그림 4(d)에서 나타나는 바와 같이 6[mm]에서 토크가 최대값을 가지는 것을 볼 수 있다.

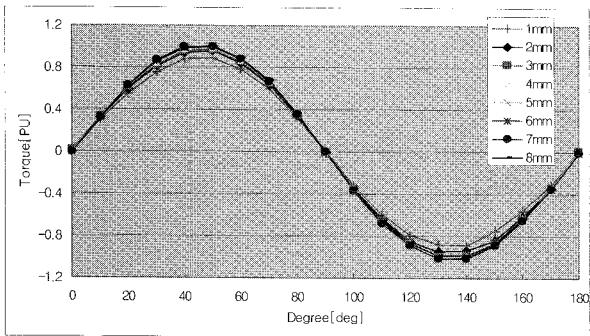
그림 4에서와 볼 수 있듯이 B1과 B2의 변화에 따라서는 토크의 변화가 크게 변화하는 것을 알 수 있고 상대적으로 B3의 변화에는 둔감하게 토크가 변화하는 것을 알 수 있었다. 따라서 최대 토크를 얻기 위해서는 B1 = B2 = B3 = 6[mm], 즉 같은 넓이를 가지도록 설계 하는 것이 효과적임을 알 수 있다. 그림 4(e)에서는 B1 = B2 = B3 = 6[mm]에서의 평균 토크를 구하였으며, 0.549[PU]의 평균토크 값과 0.176[PU]의 최소 토크값을 가지는 것을 알 수 있었다.



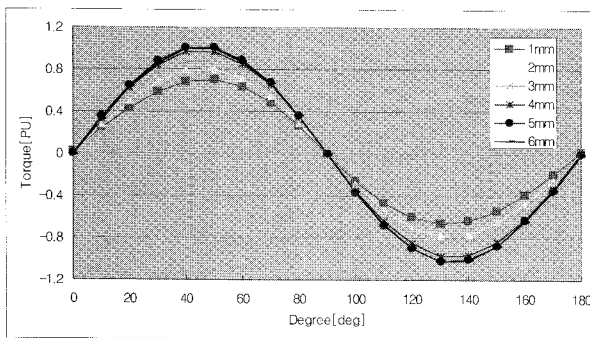
(a) Motor configuration



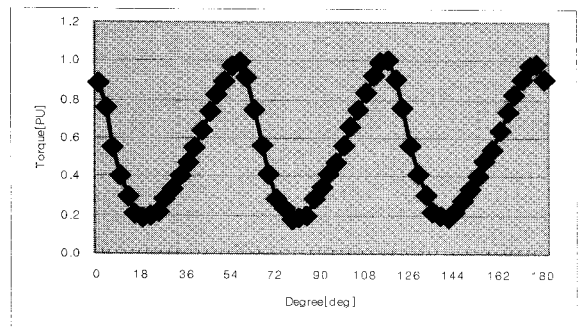
(b) Simulation results depends on B<sub>1</sub> = B<sub>2</sub> (B<sub>3</sub> = 5mm)



(c) Simulation results depends on  $B_3$  ( $B_1 = B_2 = 6$ [mm])



(d) Simulation results depends on  $B_1$  ( $B_2 = B_3 = 6$ [mm])

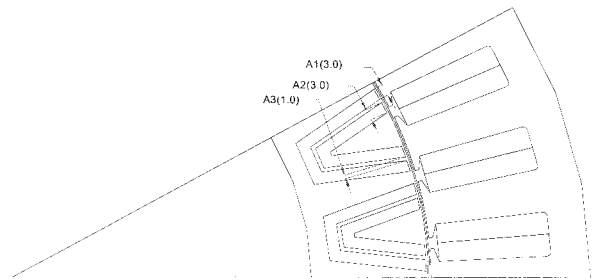


(e) Average torque ( $B_1 = B_2 = B_3 = 6$ [mm])

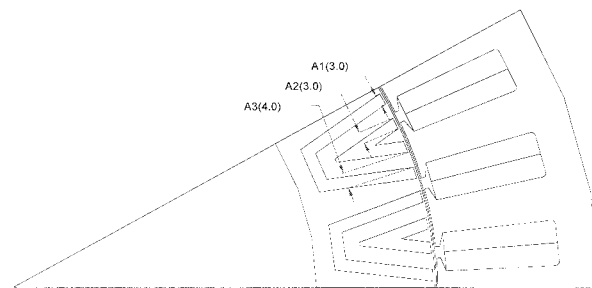
그림 4 자속 장벽 넓이에 대한 영향  
Fig. 4 The effect of single flux barrier width

### 3.2 Effect of the flux barrier insulation ration

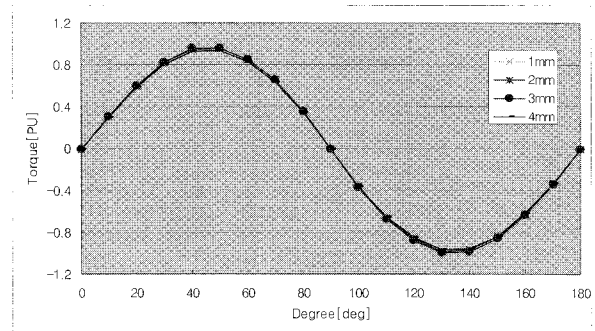
밀리턴스 토크의 특성 개선에 있어서, 절연 비율 (insulation ratio)의 영향을 살펴보기 위해서, 2층 (two-layer) 자속장벽을 고려하였다. 2층 자속장벽 회전자 최대특성을 얻기 위해서, 단층 (Single layer) 자속 장벽의 넓이의 영향에서 살펴본 바와 같이 총 자속 장벽의 넓이를 6[mm]로 고정을 하고, 여러 가지 변수들의 변화에 따른 특성을 살펴보았다.



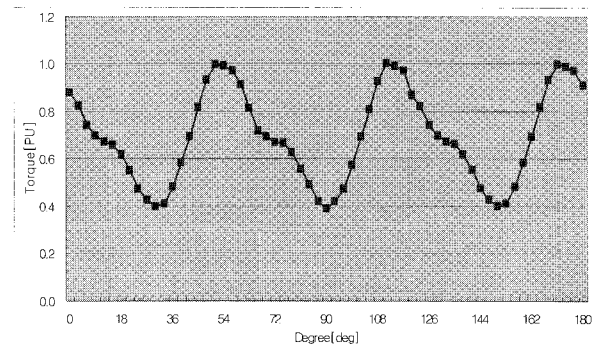
(a)  $A_3 = 1.0$ [mm]



(b)  $A_3 = 4.0$ [mm]



(c)  $A_3$ 의 변화에 대한 FEM결과 ( $A_1 = A_2 = 3$ [mm])



(d) Average torque ( $A_1 = A_2 = 3$ [mm],  $A_3 = 1$ [mm])

그림 5 철판 층의 넓이에 따른 영향  
Fig. 5 The effect of the Iron layer width

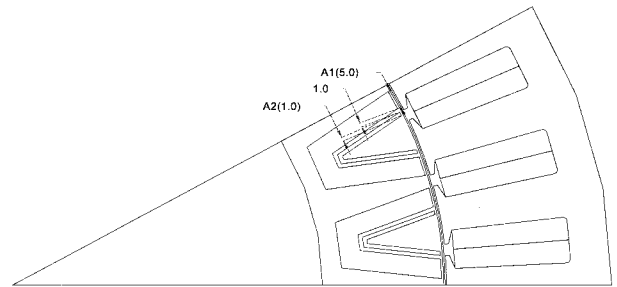
자속 장벽 사이의 철판 층(iron layer)의 최적 넓이를 결정하기 위해서 그림5와 같이 각각 자속 장벽의 넓이를 3[mm] ( $A1 = A2 = 3[mm]$ )로 설정하고,  $A3$ 를 1~4[mm]로 변화를 주었을 경우의 토크 특성을 살펴보았다. 그림 5(a)는  $A3 = 1.0[mm]$ 인 경우를 보여주고 있고, 그림 5(b)는  $A3 = 4.0[mm]$ 인 경우를 보여주고 있다. 그림 5(c)의 FEA결과에서 알 수 있듯이 철판 층의 넓이를 최소화 할수록 좋은 토크 특성을 얻을 수 있었으며,  $A3 = 1[mm]$ 에서 최대 토크를 얻을 수 있었다. 그림5(d)는  $A3 = 1[mm]$ 로 하였을 경우의 평균토크를 보여주고 있으며 0.7[PU]의 평균토크와 0.4[PU]의 최소 토크값을 가지는 것을 볼 수 있다.

장벽 비율(Barrier ratio)의 특성을 살펴보기 위해서, 그림 6에서와 같이 장벽사이의 철판 층의 넓이를 1[mm]로 고정을 하고 장벽의 넓이를 변화시키면서 최적의 장벽 비율을 살펴보았다. 그림 6(a)는  $A1 = 5.0[mm]$ 인 경우를 보여주고 있으며, 그림6(b)는  $A1 = 1.0[mm]$ 인 경우를 보여주고 있다. 그림 6(c)의 FEA결과에서 알 수 있듯이 첫 번째 장벽이 커질수록 좋은 토크 특성을 얻을 수 있었으며, 두 번째 장벽의 크기 변화에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 최대 토크 특성을 얻기 위해서 층간 간격은 1.0[mm],  $A1 = 5.0[mm]$ ,  $A2 = 1.0[mm]$ 으로 결정하였으며, 그림 6(d)는 결정된 최종 결정된 파라미터를 적용한 전동기의 평균토크를 보여주고 있으며, 0.61[PU]의 평균값과 0.24[PU]의 최소값을 가진다.

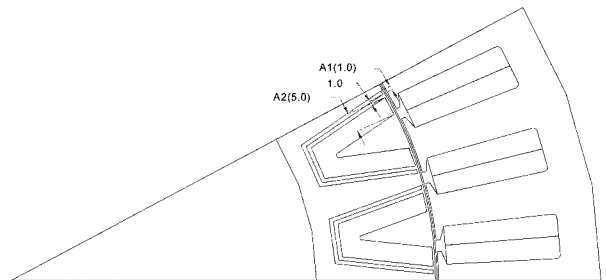
### 3.3 제안된 PMA-RSM와 토크 특성

앞에서 제시된 디자인 과정을 통해서 얻어진 회전자 자속장벽(Flux barrier) 설계값을 바탕으로, 세탁기용 전동기에서 요구하는 토크를 얻기 위해서 자속장벽에 페라이트 자석을 삽입하였으며, 삽입한 자석의 양은 기존의 세탁기용 전동기로 사용된 BLDC 전동기와 같은 양을 사용하였다.

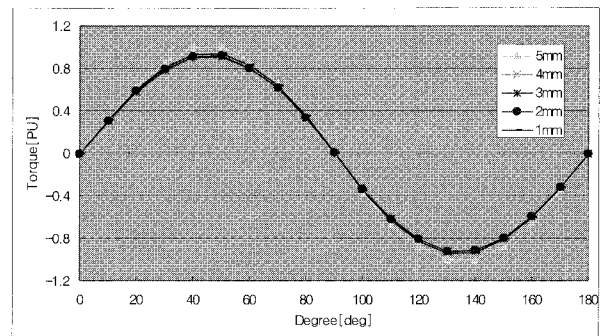
다음의 그림 7은 제안된 PMA-RSM의 FEM를 통한 자속라인과 토크 특성을 보여주고 있다. 일반적으로 IPM type의 전동기나 영구자석을 사용하는 릴럭턴스 전동기의 경우는 토크특성을 얻기 위해서 제어의 복잡함으로 인해서 릴럭턴스 토크를 무시하고 자석토크가 최대가 되는 시점인 회전자와 고정자 자속이 90[deg]가 되는 시점에서 운전하는 방법을 사용한다. 그러나 제안된 PMA-RSM의 최대 토크특성을 얻기 위해서



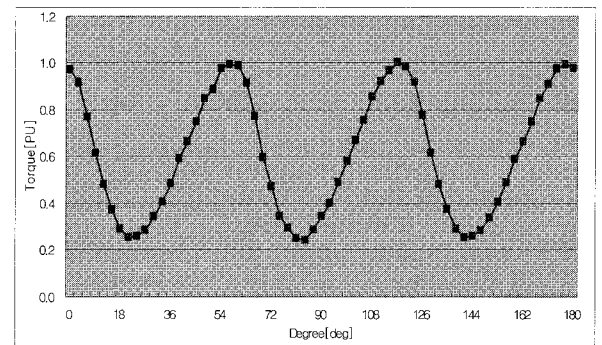
(a)  $A1=5.0[mm]$



(b)  $A1=1.0[mm]$



(c) FEM 결과



(d) Average torque ( $A1 = 5.0, A2 = 1.0[mm]$ )

그림 6 장벽 비율에 따른 영향  
Fig. 6 The effect of the barrier ratio

그림 3(b)와 같이 릴럭턴스 토크와 자석토크가 최대가 되는 시점을 FEM을 통해서 구했으며 그림 7(b)는 제안된 전동기의 전류값에 따른 토크 특성을 나타내었다. 그림 7(b)에서는 전류각이 90[deg] 지점에서는 35.14[Nm]의 최대 토크를 가지고 있으며, 114[deg] 지점에서는 39.32[Nm]의 최대 토크를 가진다. 그림 7(c)에서는 전류각이 90[deg] 지점에서는 31.01[Nm]의 평균 토크를 가지고 있으며, 114[deg] 지점에서는 33.09[Nm]의 평균 토크를 가진다. 결과적으로 릴럭턴스 토크와 자석토크를 효과적으로 이용할 수 있는 전류각을 찾음으로써 기존의 제어에 방법에 비해 4.18[Nm]의 최대 토크 향상과 2.08[Nm]의 평균 토크 향상을 가질 수 있었다.

표 2 제안된 전동기의 토크 특성  
Table 2 Torque characteristics of the proposed motor

전류각 \ 토크	최대토크[Nm]	평균토크[Nm]
90[deg]	35.69	31.50
114[deg]	39.32	33.09
개선 효과	4.18	2.08

#### 4. 결 론

본 논문에서는 세탁기용 전동기를 위해서 PMA-RSM을 제안하였으며, 전동기 회전자의 자속장벽의 크기를 결정하기 위해서 FEM을 이용하여 최적의 크기를 구하였으며, 회전자의 자속장벽에 자석을 삽입하여 토크특성을 개선할 수 있었다. 제안된 전동기의 최대 토크 특성을 얻기 위해서 릴럭턴스 토크와 자석토크의 합성토크가 최대가 되는 시점을 전류에 대해서 구하였으며, 회전자와 고정자 쇠교자속이 90[deg]가 되는 시점에 비해서 3.31%의 토크 특성을 개선할 수 있었다. 제안된 전동기는 일반적인 영구자석형 전동기에 비해서 높은 토크 밀도를 가지도록 설계가 가능하며 결과적으로 전동기를 소형화 시킴으로서 전체적인 시스템의 크기와 비용을 줄일 수 있다. 또한 저속의 영역에서 사용되는 전동기 응용뿐 아니라 서보전동기(servo motor), 드릴용 전동기 등과 같이 IPM 형태의 동기전동기가 사용될 수 있는 모든 산업응용에서 충분히 사용될 수 있으며, 또한 릴럭턴스 토크와 자석토크가 최대가 될 수 있는 부분을 FEM해석을 통해서 알아내고, 구동함에 있어서 전류에 따른 최대 토크

크 포인트를 Look-up table등으로 저장해서 사용함으로써 전동기의 특별한 구조적 개선 없이도 토크 특성을 향상 할 수 있을 것으로 기대된다.

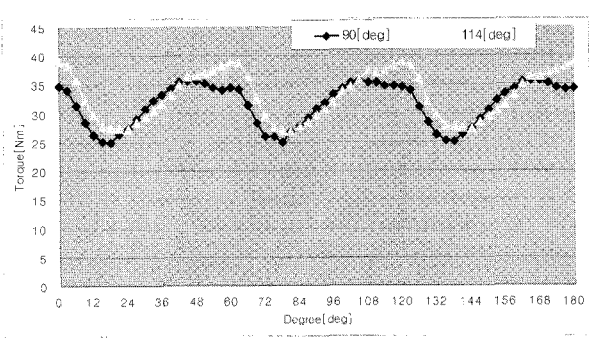
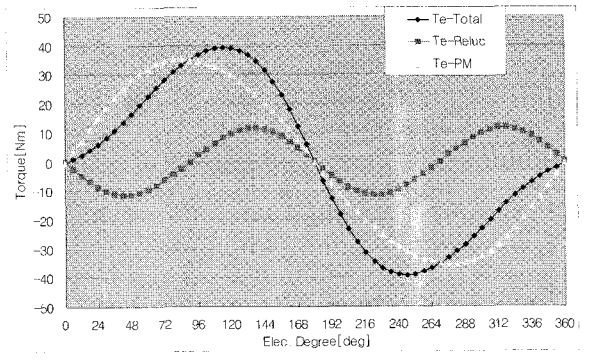
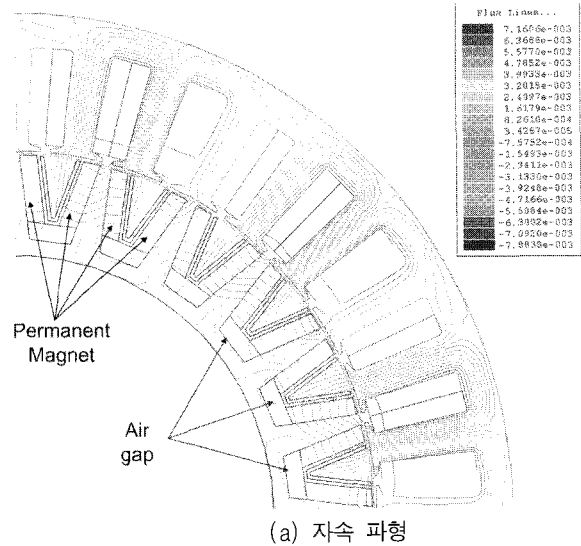


그림 7 제안된 전동기의 FEM 결과  
Fig. 7 FEM results of the proposed motor

## 참 고 문 헌

- [1] W. L. Soong, and T. J. E. Miller, "Design of a New Axially Laminated Interior Permanent Magnet Motor", *Proceeding of annual meeting of IEEE Industrial Applications Society*, pp. 27-36, 1993.
- [2] I. Boldea, *Reluctance Synchronous Machines and Drives*, Clarendon PRESS, OXFORD, 1996.
- [3] Maxwell, *Electrical engineering Simulation Software*, Copyright 1984-2003, Ansoft Corporation.
- [4] A. Vagati, A. Canova, M. Chiampi, M. Pastorelli, M. Repetto, "Design refinement of synchronous reluctance motors through finite-element analysis", *IEEE Transactions on IA*, Vol. 36, No. 4, pp. 1094-1102, 2000. July-Aug.
- [5] A. Vegati, A. Canova, and M. Pastorelli, "Design and control of high performance synchronous reluctance motor with multiple flux-barrier rotor", *IPEC 2000*, Tokyo, Japan.
- [6] P. Guglielmi, M. Pastorelli, and A. Vagati, "Impact of cross-saturation in sensorless control of transverse-laminated synchronous reluctance motors", *IEEE Transactions on IE*, Vol. 53, No. 2, pp. 429-439, 2006, April.
- [7] A. Boglietti, A. Cavagnino, M. Pastorelli, D. Staton, and A. Vagati, "Thermal analysis of induction and synchronous reluctance motors", *IEEE Transactions on IA*, Vol. 42, No. 3, pp. 675-680, 2006, May-June.

## 저 자 소 개



### 김남훈(金男璣)

1973년 6월 12일생. 1998년 삼척대 제어계측공학과 졸업. 2000년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2004년~2007년 Texas A&M Univ.(Post Doc.). 2007년~현재 청주대 전자정보공학부 전임강사.



### 남상현(南常鉉)

1973년 3월 30일생. 1998년 한밭대 전기공학과 졸업. 2000년 명지대 전기공학과 졸업(석사). 2005년 세종대 컴퓨터공학과 졸업(공학박). 2005년~2007년 대한상공회의소 충남인력개발원. 2007년~현재 청주대 전자정보공학부 전임강사.



### 최경호(崔景好)

1967년 4월 28일생. 1991년 영남대 전기공학과 졸업. 1995년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1995년~2000년 (주)효성전동기개발. 2002년~현재 경북전문대학 전기과 조교수.